

学校编码: 10384

分类号\_\_\_\_\_密级\_\_\_\_\_

学号: 22420061152329

UDC\_\_\_\_\_

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

一种水声通信网络协议的跨层设计与实现

Cross-layer Design and Implementation of an Underwater  
Acoustic Communication Network Protocol

陈达伟

指导教师姓名: 许 肖 梅 教授

专 业 名 称: 海 洋 物 理

论文提交日期: 2009 年 6 月

论文答辩时间: 2009 年 6 月

学位授予日期: 2009 年 月

答辩委员会主席: \_\_\_\_\_

评 阅 人: \_\_\_\_\_

2009 年 6 月

厦门大学博硕士论文摘要库

## 厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为( )课题(组)的研究成果,获得( )课题(组)经费或实验室的资助,在( )实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

## 厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

（        ） 1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，  
于        年        月        日解密，解密后适用上述授权。

（        ） 2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年        月        日

厦门大学博硕士论文摘要库

## 摘 要

水声通信技术是当代海洋资源开发和国家安全保障的重要组成部分，也是我国海洋高新技术产业中急待研究开发的关键技术之一。随着现代海洋资源开发的深入和国家海洋安全意识的增强，水声通信技术以及在此基础上构建的水声通信网络技术的研究和应用越来越受到人们的重视。但是，水声信道是一个十分复杂的时-空-频变随机多径信道，存在着噪声高、带宽窄、传播速率低、起伏和传输时延大等诸多不利因素，特别是由于水下特殊环境条件带来的水声通信网络拓扑结构不稳定、节点能量受限等特点，要构建一套稳健、高效的水声通信网络极为困难。在水声通信网络的设计构建中，除了可靠、稳健的点对点物理通信为基础外，还需要一套行之有效的网络协议，它与网络内的多址接入方式、拓扑结构、路由方式等密切相关。本论文选题正是在这样的研究背景下，结合国家 863 专项课题“分布式海洋水声通信技术研究”而提出的。

论文查阅了国内外大量水声通信及水声通信网络相关文献资料，分析了浅海水声信道的物理特性和水声通信网的诸多特点，针对水声通信网络数据链路层中最为关键的技术——媒体接入控制 MAC (Media Access Control) 协议，设计了一套新型水声通信网工作协议 MACA-U (Multiple Access Collision Avoidance for Underwater Wireless，水下多址接入避碰协议)，使用 OPNET 进行网络仿真并与现有水声通信网络仿真实验结果进行比较，从理论上分析了该协议的可行性和有效性。

论文采用 LabVIEW8.2 虚拟仪器软件对 MACA-U 协议进行软件实现，并与另一组设计的物理层模块配合，构建了一套包含四个网络节点在内的小型水声通信网络 UAMS (Underwater Acoustic Multi-nodes communication System) 并进行了联网实验。通过多次实验室水池实验，验证了论文所提出的 MACA-U 协议在多跳式和集中式两种不同网络拓扑结构下的工作性能。实验结果表明，论文所提出的 MACA-U 协议能有效、可靠工作，系统易于扩展，具有一定的抗干扰能力。

**关键词：**水声通信网络；MACA-U 协议；LabVIEW 虚拟仪器

厦门大学博硕士论文摘要库

## Abstract

Underwater acoustic communication (UAC, Underwater Acoustic Communication) Technology plays an important role in marine resource exploitation and national security etc. With rapid development of marine resource exploitation and the demand of National Ocean security, UAC and UAN (Underwater Acoustic communication Network, based on UAC) technology has been paid more and more attention. However, underwater acoustic (UWA) channel is expressed as a complex channel which is randomly variable in time-space-frequency, coupled with high noise, narrow bandwidth, low transmission speed, large fluctuation and transmission delay, added with the specialties of UAN, such as the changefully topologies, energy-constrained nodes, etc, which makes it difficult to design and build a robust and high-efficiency UAN system. Apart from the high performance of the point-to-point communications system, the network protocol is also an important technique for the designation of UAN system, for it determines the Media Access Control (MAC) mechanism, network topology and routing method, etc. This paper is just put forward in such circumstances, combined with the national 863 specific subject "Distribute UAC Technology research in ocean".

Consulted abundant domestic and foreign relevant references, according to physical characteristics of UWA channel and specials of UAN, the paper brought up new UAN protocol MACA-U (Multiple Access Collision Avoidance for Underwater Wireless). Some OPNET network simulation results had brought out the feasibility and efficiency of MACA-U in theory.

Subsequently, this paper used LabVIEW8.2 to realize the software of MACA-U, and then to meet up with the physical layer module to build a small UAN system called Underwater Acoustic Multi-node communications System (UAMS, Underwater Acoustic Multi-nodes communication System) including 4 nodes of the distributed communication. The pool experimental results show the efficiency of the MACA-U protocol worked under the two different topologies: multi-hopping and master-slave network topologies. The experiments also showed that the MACA-U protocol enhanced



the anti-interference ability of UAMS and expressed a good performance in reliability and efficiency.

**Key words:** Underwater acoustic communication network; MACA-U protocol; LabVIEW Virtual Instrument

厦门大学博硕士论文摘要库

# 目录

<b>第一章 绪论 .....</b>	<b>1</b>
1.1 引言 .....	1
1.2 水声通信网络的特点 .....	2
1.2.1 影响水声通信网络的几个不利因素 .....	2
1.2.2 水声通信网络的研究重点 .....	5
1.3 国内外水声通信网发展现状 .....	6
1.4 论文研究的主要内容 .....	13
<b>第二章 水声通信网络的分层结构和拓扑结构 .....</b>	<b>15</b>
2.1 水声通信网的分层结构 .....	16
2.2 网络的拓扑结构 .....	19
2.2.1 网络拓扑结构的意义 .....	19
2.2.2 网络拓扑结构的分类 .....	19
2.3 Ad Hoc 网络 .....	24
2.3.1 Ad Hoc 网络综述 .....	24
2.3.2 Ad Hoc 网络的特点 .....	25
2.3.3 Ad Hoc 网络中的路由协议 .....	26
2.3.4 Ad Hoc 网络与水声通信网的关系 .....	26
2.4 本章小结 .....	27
<b>第三章 水声通信网络中数据链路层协议研究 .....</b>	<b>29</b>
3.1 数据链路层综述 .....	29
3.2 数据链路层的帧结构 .....	31
3.2.1 数据链路层的成帧方式 .....	32
3.2.2 数据链路层的帧结构 .....	32
3.3 媒体接入控制协议 .....	34
3.3.1 媒体接入控制协议综述 .....	34
3.3.2 几种介质访问协议的分析比较 .....	37
3.4 差错控制与流量控制技术 .....	41
3.4.1 前向纠错技术 .....	41
3.4.2 自动重传请求 ARQ 协议 .....	42
3.5 网络时延的组成 .....	47
3.6 本章小结 .....	47
<b>第四章 水声通信网络协议的跨层设计 .....</b>	<b>49</b>
4.1 跨层网络设计 .....	49
4.2 水声通信网络拓扑结构设计 .....	50

4.3	数据链路层协议 .....	52
4.3.1	成帧方式 .....	52
4.3.2	MAC 层协议 .....	54
4.3.3	差错与流量控制协议 .....	55
4.3.4	路由方式 .....	55
4.4	收发双方通信流程 .....	55
4.5	本章小结 .....	58
第五章 MACA-U 协议的软件实现 .....		59
5.1	LabVIEW 简介 .....	59
5.2	UAMS 主界面设计 .....	61
5.3	程序框图 .....	65
5.4	UAMS 实验情况展示 .....	69
5.4.1	硬件配置 .....	69
5.4.2	实验情况展示 .....	71
5.5	本章小结 .....	76
第六章 总结和展望 .....		77
6.1	论文工作总结 .....	77
6.2	工作展望 .....	77
参考文献 .....		78
致谢 .....		81

# Catalog

<b>Chapter 1 Introduction .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Introduction .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Specialities of UAN.....</b>	<b>2</b>
1.2.1 Disadvantages of UAN .....	2
1.2.2 Characteristics of UAN .....	5
<b>1.3 Research progress of UAN .....</b>	<b>6</b>
<b>1.4 Main researches.....</b>	<b>13</b>
<b>Chapter 2 Layers and topologies of UAN .....</b>	<b>15</b>
<b>2.1 Layers of UAN.....</b>	<b>16</b>
<b>2.2 Topologies of UAN .....</b>	<b>19</b>
2.2.1 Significances of UAN topologies.....	19
2.2.2 Classifications of UAN topologies .....	19
<b>2.3 Ad Hoc Network.....</b>	<b>24</b>
2.3.1 Introduction of Ad Hoc.....	24
2.3.2 Specialities of Ad Hoc .....	25
2.3.3 Routing protocol of Ad Hoc .....	26
2.3.4 Relationship between UAN and Ad Hoc .....	26
<b>2.4 Summary.....</b>	<b>27</b>
<b>Chapter 3 Datalink layer of UAN .....</b>	<b>29</b>
<b>3.1 Introduction .....</b>	<b>29</b>
<b>3.2 Frams of datalink layer .....</b>	<b>31</b>
3.2.1 Fram formations.....	32
3.2.2 Frams of datalinklayer .....	32
<b>3.3 MAC protocol.....</b>	<b>34</b>
3.3.1 Introduction of MAC protocol.....	34
3.3.2 Comparison among some MAC protocols .....	37
<b>3.4 Error detection and correction .....</b>	<b>41</b>
3.4.1 FEC.....	41
3.4.2 ARQ .....	42
<b>3.5 Network delay.....</b>	<b>47</b>
<b>3.6 Summary.....</b>	<b>47</b>
<b>Chapter 4 Cross-layer design .....</b>	<b>49</b>
<b>4.1 Cross-Layer Design.....</b>	<b>49</b>

<b>4.2 Topology design.....</b>	<b>50</b>
<b>4.3 Datalink layer protocol.....</b>	<b>52</b>
4.3.1 Frams.....	52
4.3.2 MAC protocol.....	54
4.3.3 Error detection and correction .....	55
4.3.4 Routing .....	55
<b>4.4 Communication Progress .....</b>	<b>55</b>
<b>4.5 SUMMARY.....</b>	<b>56</b>
 <b>Chapter 5 Software realization of MACA-U .....</b>	 <b>59</b>
<b>5.1 Introduction of LabVIEW.....</b>	<b>59</b>
<b>5.2 Main interface of UAMS .....</b>	<b>61</b>
<b>5.3 Block diagram .....</b>	<b>65</b>
<b>5.4 Experiments of UAMS.....</b>	<b>69</b>
5.4.1 Hardware.....	69
5.4.2 Experiment results.....	71
<b>5.5 Summary.....</b>	<b>76</b>
 <b>Chapter 6 summary and prospect .....</b>	 <b>77</b>
<b>6.1 Summary.....</b>	<b>77</b>
<b>6.2 Prospect.....</b>	<b>77</b>
 <b>Reference .....</b>	 <b>78</b>
 <b>Acknowledge .....</b>	 <b>81</b>

## 第一章 绪论

### 1.1 引言

海洋覆盖了地球 70% 以上的面积，资源蕴藏丰富，开发潜力巨大，也是人类活动的重要场所。21 世纪是全世界大规模开发利用海洋资源、扩大海洋产业、发展海洋经济的新时期，各种水中设备不断投入使用。而担负水下设备数据信息和指令信息的传输工作的水下通信技术则在现代海洋军事防卫和民用海洋开发工程中起到了至关重要的作用

声波是水中实现远距离传播的唯一有效手段。早期的水声通信仅限于简单的点对点文字或语音传输，但是随着人类对海洋的不断开发和利用，大量不同类型的信息需要在各种水面舰艇、潜艇、水面站、水下监测设备或水下机器人之间进行传输，必要的时候还可以通过水面舰艇、水面站等与各类陆上网络进行信息接驳，这就必然要求水声通信技术从简单的点对点通信走向网络通信，为大量不同类型的设备提供一个相互连接的通信链路。同时，不断进步的水声通信技术也为水声通信网络的研究和构建奠定了坚实的基础。

近 20 年，由于军事和民用领域对水声通信和水声通信网的需求不断加大，相关技术得到长足发展，水声通信网络的应用范围日益扩大。在军事上，网络化水声通信技术不断显示出其在海洋军事情报的监听与收集、港口及近岸水域的监测、特别是水下侦察与作战群体管理、指挥与调度等方面的重要性，监测范围的扩大和水下武器系统的多样化发展趋势则要求水声通信技术能传得更快、更远、能更加有效地抵抗外部干扰。而在民用方面，海洋环境与气象研究、环境污染监测、海洋资源开发与保护、港口安全与效率的提高等大量应用各种水下传感器的工作环境则要求网络化的监控和管理工作，这同样对水声通信网络技术的发展提出了迫切要求。

目前，水声通信网络的应用可以归结为两种主要类型<sup>[1~3]</sup>：

#### (1) 水下固定区域的监视

这类网络的典型代表是美国自治部署的分布式网络 DADS (Deployable

Autonomous Distributed System), 它的特点是各网络节点能够被迅速布置, 用来对近海水域进行水下监测。该系统一般来说由固定的传感器平台组成, 这些传感器通过声调制解调器互相连接, 通过长距离水声通信把这些远程传感器连接到一个控制中心。该控制中心通过卫星连接把收到的数据从水声通信网络中继到远端控制设备。数据在网络中沿着多跳水声路径进行多次中继传输, 以此减少发射功耗, 也降低了信号在时间、空间和频域上的扩展。由于这种网络经常需要在一个特定的地点工作很长一段时间, 所以考虑的重点是工作效率、续航能力和网络抗毁性。

## (2) 各类环境数据的收集

这类网络一般由几种传感器组成, 除了一个固定位置的传感器外, 更多的是被放置在自由移动的设备上, 这类网络的代表是自治海洋采集网络 AOSN (Autonomous Oceanographic Sampling Network)。它为采集各种海洋数据、制作精确的图表、预报天气、测量和建立模型提供相应机制, 网络的中心概念是移动数据采集平台 (如水下无人航行器 AUV) 的布置、导航和控制。移动采集平台的使用要求此类网络的设计者采取多种技术满足水下移动通信的需求, 一方面克服水下移动带来的多普勒效应等影响, 一方面还要注意平台移动带来的网络拓扑结构变化。

虽然对水声通信网络的需求紧迫, 发展潜力巨大, 但是目前总体发展水平远远落后于陆上无线网络。由于水声通信网络存在的诸多不利因素, 需要通过提高水声通信技术和设计合适的网络协议加以解决。本论文着眼于如何设计一个简单、有效、能适用于小型水声通信网的网络协议, 在对水声通信网各个层次结构进行全面分析的基础上, 提出一种新型网络协议 MACA-U, 并基于 LabVIEW 虚拟仪器软件进行系统设计和实现, 配合物理层模块构建小型水声通信网, 在水池中进行了 4 个节点的联网通信试验, 测试了其实际工作性能。

## 1.2 水声通信网络的特点

### 1.2.1 影响水声通信网络的几个不利因素

一般情况下, 水声通信网络是一个多节点、大面积覆盖水下三维区域、可对信息进行采集、处理并通过直接或中继方式在各个节点间进行必要传输的综合系

统，而水声通信设备则担负着网络节点间相互传递信息的重要任务。一套水声通信网络系统的可靠性和工作有效性极大地依赖于配套水声通信设备的工作能力。然而，水声信道固有的特点和复杂多变的水下环境极大地限制了水声通信系统的通信能力，也给设计、制造、维护水声通信网络系统和相关设备带来了重重考验。总体来说，水声通信网络受到以下几个不利因素限制<sup>[1~10]</sup>：

### 1、通信能力受限

由于电磁波在水中衰减十分严重，声波通信成为近乎唯一有效的水下无线传输手段。然而，与无线电信道相比，水声信道的突出特点就是通信条件恶劣，通信能力受到很大限制。例如水声信道对声波的吸收、散射、扩散以及窄带宽、强环境噪声、强起伏、多途干扰、多普勒频移等等，形成水声信道对传输极为不利的时-空-频变特征，也使得水声通信的可用带宽十分有限。具体有以下几个方面：

#### (1) 传播速率低、时变严重

水下声波的传播速率比空气中电磁波的传播速率低 5 个数量级，传输时延大约为 0.67s/km，较高的传输时延大大影响了水声通信的效率和网络吞吐量。同时，高度的时变特征使得水声通信网络中无法精确估计通信往返时间，因此往往需要设置较大的保护间隔，对通信协议的效率造成很大影响。

#### (2) 传播损失大

声传播损失主要是由扩展、吸收和散射三方面引起的。声能的扩展由波阵面的扩张引起，随传播距离的增加而增加。一般包括两种几何扩展：深水通信中的球状扩展和浅水通信中的柱状扩展。声波波阵面在传播过程中不断扩展而引起声强衰减，导致声传播损失。传播损失与频率及距离之间的关系如图 1.1 所示。

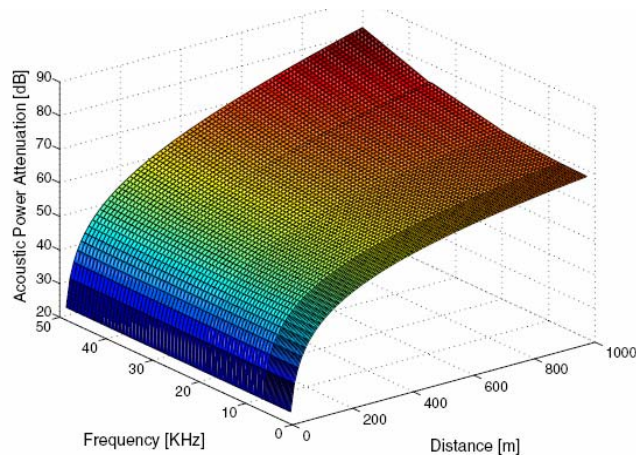


图 1.1 浅海水声信道中传播损失与频率及距离之间的关系

Fig.1.1 Relationship among transmission lost, frequency and distance



Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to [etd@xmu.edu.cn](mailto:etd@xmu.edu.cn) for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库